图 1 半栏，65 高

雷竹林严重低温寒害与立竹性状和林地覆盖经营的关系

郭子武[1]，俞文仙[2], 陈双林[1]*, 叶莉莎[1]

（1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所， 杭州 311400; 2. 浙江省杭州市富阳区农业和林业局， 杭州 311400）

摘要：为探讨雷竹林严重低温寒害特征及其影响因子，2016 年 1 月下旬至 2 月上旬严重低温寒害后调查了不同林地覆盖经营年限雷竹林不同年龄和胸径立竹的受损情况。结果表明：持续低温冻害使雷竹叶片失水结冰、失绿、黄枯，严重的整株叶片枯黄脱落; 竹秆干缩，颜色变黑，叶鞘枯黄，立竹死亡。严重低温寒害气候条件下，3 cm≤DBH<5 cm 立竹的受损类型主要为Ⅰ～Ⅲ类，较小径级（DBH < 3 cm）和较大径级（DBH≥5 cm）立竹的Ⅳ类受损情况明显提高；2 年生、3 年生立竹受损程度类型主要为Ⅰ和Ⅱ类，而 1 年生、3 年生以上立竹受损程度类型主要为Ⅲ和Ⅳ类；短期林地覆盖(≤3a)雷竹林立竹受损类型主要为Ⅰ~Ⅲ类，而长期林地覆盖(≥5a)雷竹林主要为Ⅲ和Ⅳ类，且IV类受损率明显提高，休养式覆盖雷竹林IV类受损率低于 20%，显著低覆盖 3a 及以上雷竹林。研究表明，严重低温寒害气候条件下，立竹年龄、立竹胸径和林地覆盖经营对雷竹林立竹受损程度均有重要影响，宜留养 3~5 cm 立竹，合理调控竹林立竹年龄结构，留足 2~3 年生立竹，采取休养式林地覆盖经营方式，连续林地覆盖年限不宜超过 3 年。

关键词：雷竹，低温冻害，林地覆盖经营，立竹年龄

中图分类号：Q948　　　　文献标识码：A

DOI：10.11931/guihaia.gxzw201805059

Damage characteristics of *Phyllostachys violascens* forests and the relationship with bamboo status and mulching management exposed to freezing stresses

Guo Ziwu[1], Yu Wenxian[2], Chen Shuanglin[1*], Ye Lisha[1]

(1. *Research Institute of Subtropical Forestry. CAF, Zhejiang, Hangzhou 311400, China*; 2. *Agriculture and Forestry bureau of Fuyang District of Hangzhou*, *Zhejiang, Hangzhou* 311400, *China*)

Abstract: To analyze the damage characteristics of *Phyllostachys violascens* forests and the relationship with mulching management after the freezing rain and snow events, the damage characteristics of bamboo with different age and diameter at breast (DBH) from the bamboo stand under different period and types of mulching management was investigated. The bamboo leaves was hurt severely, turning yellow with icing cover, dehydration or complete leaf abscission. The stems of serious damaged bamboos shrinked and became black, and chlorisis occurs to the leaf sheaths The damage degree of bamboo with 3 cm≤DBH<5 cm was Ⅰ and Ⅲ type damage, while Ⅳ type damage for bamboo with DBH＜3 or DBH＞5 increased obviously. The damage degree of 2- and 3-year old bamboo was Ⅰ and Ⅲ type damage, while that for the 1- and ＞3-year old bamboo was Ⅲ and Ⅳtype damage. The damage degree of bamboo from the bamboo stand with short-term mulching management (≤3a) showed Ⅰ and Ⅲ type damage, while that for long-term mulching management (≥5a) was Ⅲ and Ⅳ type damage. Furthermore, the bamboo of Ⅳ type damage from stand of respite-mulching (3-year mulching + 2-year respite) was lower than 20%, which was damaged more slightly. It can be concluded that the damage degree of bamboo differs among different years and DBH. The bamboo with medium DBH(3cm≤DBH <5cm) and 2 and 3-year old was damaged slightly. Bamboo from the

收稿日期：2018-05-27

基金项目：国家重点研发计划课题(2016YFD0600903)；浙江省林业科技计划项目(2107B06)；浙江省重点研发计划项目(2017C02016) [Supported by National Key R & D program of China (2016YFD0600903); Zhejiang Provincial Forestry Application Program(2017B06); Zhejiang Provincial Key R&D Program(2017C2016)]

作者简介：郭子武(1975-)，男，山东武城人，博士，副研究员，从事竹林生态与培育研究，（ E-mail）hunt-panther@163.com。

*__通讯作者：__陈双林，博士，研究员，主要从事竹林生态与培育研究，（ E-mail）cslbamboo@126.com。

stands in long-term mulching management (≥5a) was damaged greatly, while that for bamboo stand of respite-mulching (3-year mulching + 2-year respite) management was damaged slightly. Although mulching is a the management pattern for high production, the suitable duration for mulching management is 3 years to increase resistance of bamboo against freezing stress.

Keywords: *Phyllostachys violascens*, freezing rain and snow hazards,mulching management, bamboo age

近年来，气候变化导致极端天气事件(如雨雪冰冻、高温干旱、飓风、强降雨等) 发生的频率、强度和规模日趋增强，已经严重影响了生态系统结构、功能、稳定性和生产力，成为国内外普遍关注的热点问题(Meehl & Tebaldi, 2004; Richard, 2015; Sohngen & Tian, 2016)。灾害性天气直接影响着林业正常生产和可持续经营(苏文会等, 2008; 葛晓改等, 2014; 李迎春等 2015)，已经成为森林经营与管理的重要非生物干扰因子，全球每年有数百万公顷的森林遭受飓风、冰雪灾害、干旱等极端天气的影响(Galik & Jackson, 2009)。不同林种因自身特点(高度、粗度和年龄等)、发育阶段、林分结构及经营水平的差异在同等灾害条件下受损程度不同(Jentsch & Beierkuhnlein, 2008; 王静等, 2014)。而人工林系统因其树种单一、结构简单、生物多样性低，再加之强度人工经营干扰，因而稳定性和抗逆能力较差，在遭遇严重的自然灾害时，往往损失惨重(张建国等, 2008; Zhou et al, 2011; 崔宁洁等, 2014)。

雷竹(*Phyllostachys violascens*)是我国优良的笋用竹种，具有成林速度快、出笋早、笋味鲜、产量高等特点，已经在中国的南方许多省份得到规模化推广栽培。为追求更高的经济效益，自20世纪90年代初以来，浙江省临安市、德清县、余杭区等雷竹主产区大规模推广雷竹林地覆盖竹笋早出技术，竹笋产量和经济效益显著提高。2016年1月下旬至2月上旬，在覆盖雷竹林出笋盛期，雷竹主要分布区的浙江北部出现了较长时间(15d左右)的严重低温寒害天气，局部低温达-15 ℃，且伴有较长时间的降雨/雪，导致一些雷竹林大量立竹叶片枯黄，竹秆皱缩变色，甚至立竹死亡，严重影响雷竹林生长更新和经济效益产出。其中，连年持续林地覆盖经营会导致雷竹林土壤劣变，雷竹林立地生产力明显衰退，立竹生长活性和抗性明显下降(郭子武等, 2013，2015; 陈珊等, 2014; Guo et al, 2014)，可能是此次低温冻害严重的重要原因之一。为此，2016年1—2月的严重低温寒害后对浙江省临安市不同林地覆盖经营年限雷竹林的不同年龄、胸径立竹的受损程度进行了调查，分析雷竹林严重低温寒害特征及其与立竹性状和林地覆盖经营的关系，为雷竹林可持续经营和严重低温寒害的防灾减灾及灾后恢复提供参考。

1 试验地概况

试验地位于浙江省临安市太湖源镇（30°24′N，119°32′E），属中亚热带季风气候，四季分明，年平均气温15.8 ℃，7月平均气温28.1 ℃，1月平均气温3.4 ℃，年平均日照时数1 939 h，年平均无霜期234 d。土壤为红壤。太湖源镇是临安市雷竹林经营的重点乡镇，现有雷竹林面积1万多hm^2，自20世纪90年代以来大规模推广应用雷竹林林地覆盖竹笋早出经营技术，竹笋业已成为当地农村社会经济发展的支柱产业和农民家庭经济收入的主要来源。但由于长期的林地覆盖，雷竹林立地生产力衰退日趋严重(郭子武等, 2013，2015; 陈珊等, 2014; Guo et al,, 2014)，立竹抗逆能力明显下降，2016年1月下旬至2月上旬较长时间的严重低温寒害天气对该区域雷竹林生长产生了严重影响，导致大面积雷竹林叶片干枯、脱落，甚至整株死亡。

2 研究方法

2.1 样地设置

2016 年4月中旬，对试验地雷竹主要分布区进行踏查，选择不同林地覆盖经营年限(CK、1a、3a、5a、7a)及休养式覆盖经营(覆盖3a+休养2a)雷竹林各6块，每块面积不小于0.2 hm^2，在每种类型雷竹试验林中分别设置5 m×5 m样地各3个。对样地中的立竹年龄、立竹胸径和受损程度进行每竹调查。试验林立竹密度（16275±495）~（20535±705）株 • hm^{-2},立竹平均胸径（4.27±0.25）cm、立竹年龄结构为1a:2a:3a=1.62:1.79:1。立竹受损程度分为4 类，Ⅰ类：立竹生长正常，叶片枯黄30%以下；Ⅱ类：立竹叶片枯黄30%~70%，竹秆和叶鞘正常；Ⅲ类：立竹叶片枯黄70%以上，竹秆和叶鞘正常；Ⅳ类：叶片全部枯黄，竹秆干缩，颜色变黑，叶鞘枯黄，立竹死亡。

2.2 数据处理

立竹受损率(%)=样地中相同受损程度的相同径级或年龄的立竹数量/样地中立竹数量× 100%。试验数据在Excel 2007 统计软件中进行整理和图表制作，在SPSS 16.0 统计软件中进行one-way ANOVA分析，差异性水平α=0.05。试验数据均为平均值±标准差。

3 结果与分析

3.1立竹胸径对雷竹林严重低温寒害受损程度的影响

由表 1 分析可知，随着立竹胸径的增大，雷竹林Ⅰ和Ⅱ类受损程度的立竹受损率均呈先升高后降低的变化趋势，而Ⅲ、Ⅳ类受损程度立竹受损率则呈相反变化规律；3 cm≤DBH <5 cm 径级立竹各类受损程度立竹受损率并无显著差异，且其Ⅰ和Ⅱ类受损程度的立竹受损率显著高于 DBH<3 cm、DBH ≥5 cm 径级立竹，而Ⅲ、Ⅳ类受损程度立竹受损率则呈相反，均显著低于 DBH<3 cm、DBH≥5 cm 径级立竹，且后二者间各类受损程度立竹受损率亦有显著差异。可见，严重低温寒害气候条件下，胸径对雷竹林立竹受损程度会有较大的影响，3 cm≤DBH<5 cm 立竹的受损主要表现为Ⅰ～Ⅲ类(合计超过 55%)，而较小径级（DBH <3 cm）和较大径级（DBH≥5 cm）立竹的Ⅳ类(超过 25%)受损情况会有较大幅度的提高。因此，从雷竹林严重低温寒害防灾减灾出发，竹林的立竹胸径不宜过小或过大，宜留养胸径为 3～5 cm 的立竹。

表 1 严重低温寒害条件下雷竹林不同径级立竹受损率 (%)
Table 1 Damage ratio of *Phyllostachys praecox* with different diameter at breast (DBH) in freezing rain and snow hazards

立竹胸径 Diameter at breast(cm)	I类 I type	II类 II type	III类 III type	IV类 IV type
DBH<3	30.26±2.11 b	14.64±0.92 c	28.47±2.39 a	26.63±2.11 b
3≤DBH＜4	38.44±3.02 a	21.22±1.11 a	21.19±2.57 c	19.15±1.68 c
4≤DBH<5	35.02±1.98 a	23.89±1.68 a	20.27±2.34 c	20.82±3.05 c
DBH≥5	24.88±1.23 c	19.58±1.26 b	25.99±1.12 b	29.55±4.98 a

注：同列比较，不同小写字母示差异显著(P<0.05)。下同。Note: Comparison of the same column. Different lowercase letter indicated significant difference (P<0.05) on damage ratio. The same below.

3.2 立竹年龄对雷竹林严重低温寒害受损程度的影响

由图 1 可以看出，随着立竹年龄的增大，雷竹林Ⅰ和Ⅱ类受损程度的立竹受损率呈先升高后下降的变化趋势，Ⅰ类受损程度 2 年生、3 年生立竹间无显著差异，均显著高于 1 年生、3 年生以上立竹，且 3 年生以上立竹显著高于 1 年生立竹；Ⅱ类受损程度不同年龄立竹间差异显著，以 3 年生以上立竹最低，其次为 1 年生立竹，2 年生立竹最高；Ⅲ和Ⅳ类受损程度的立竹受损率随着立竹年龄的增大均呈先降低后升高的变化趋势，2 年生、3 年生立竹间无显著差异，均显著低于 1 年生和 3 年生以上立竹，其中，Ⅲ类受损程度的 3 年生以上立竹显著高于 1 年生立竹，而Ⅳ类受损程度的 1 年生与 3 年生以上立竹间差异不显著。说明，在严重低温寒害气候条件下，年龄对雷竹林立竹受损程度也会有较大的影响，受损程度轻的Ⅰ、Ⅱ类主要为 2 年生、3 年生立竹，而受损程度重的Ⅲ、Ⅳ类反而是 1 年生、3 年生以上立竹。因此，在雷竹林经营中，需合理调控竹林立竹年龄结构，留足 2~3 年生立竹，并做好 1 年生立竹的防寒措施。

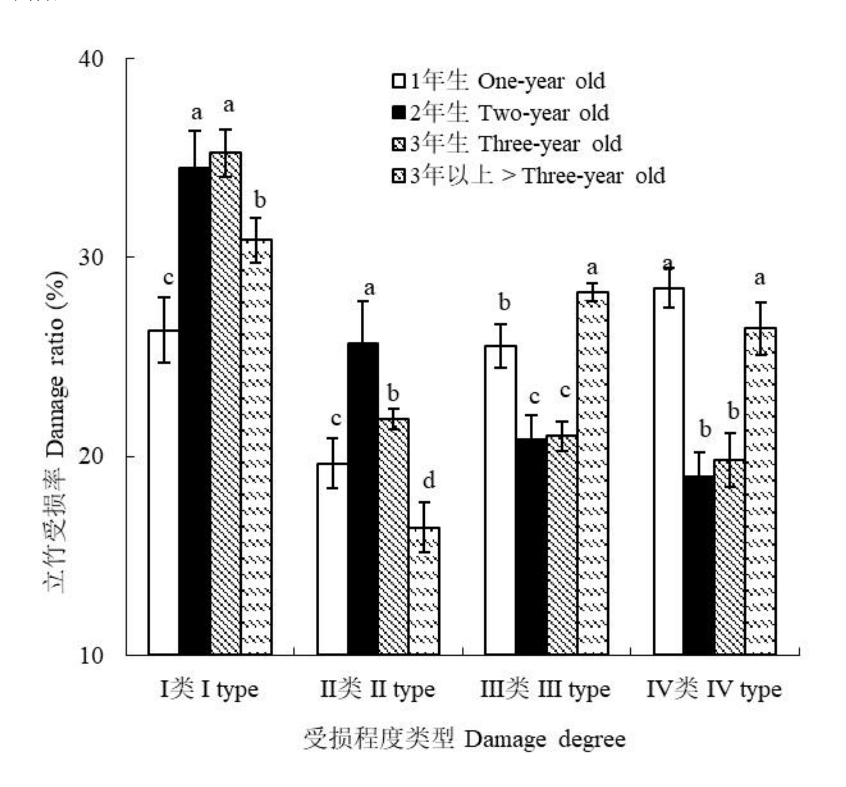


图 1 严重低温寒害条件下雷竹林不同年龄立竹受损率

Fig 1 Damage ratio of *Phyllostachys praecox* with different bamboo age in freezing rain and snow hazards

注：小写字母为相同受损程度类型不同年龄立竹间比较，字母不同示差异显著(P<0.05)。

Note: Different lowercase indicated significant difference (P<0.05) on damage ratio of bamboo with different bamboo age of the same damage type.

3.3 林地覆盖经营年限对雷竹林严重低温寒害受损程度的影响

从表 2 分析可知，随着林地覆盖经营年限的延长，雷竹林Ⅰ和II类受损程度立竹受损率呈持续下降趋势，而III、IV类受损程度立竹受损率总体上呈相反的变化趋势，随林地覆盖经营年限的增加而持续升高；Ⅰ、II和IV类受损程度的立竹受损率覆盖年限间差异显著，覆盖 3a 及以上雷竹林III类受损程度的立竹受损率并无显著差异，但均显著高于覆盖 1a 及 CK 雷竹林。分析表明，在严重低温寒害气候条件下，林地覆盖经营年限对雷竹林立竹受损程度有重要影响，短期林地覆盖(≤3a)雷竹林立竹受损程度为Ⅰ~III类，竹林仍具有较强的更新生长能力，而长期林地覆盖雷竹林(≥5a)，立竹受损程度主

要为III、IV类，尤是IV类受损竹明显增多，已严重影响到雷竹林的可持续经营。

覆盖经营方式雷竹林冰雪低温冻害损伤差异明显(表 2)。休养式覆盖经营雷竹林 I 和 II 类受损程度立竹受损率虽显著低于 CK，但与覆盖 1a 雷竹林并无显著差异，且显著高于覆盖 3 a 及以上雷竹林，其III类受损程度则仅略高于 CK 和覆盖 1 a 雷竹林，且显著低于 3 a 及以上雷竹林，而IV类受损程度虽显著高于 CK 和 1 a 雷竹林，但却显著低于 3 a 及以上雷竹林。综合分析表明，休养式覆盖雷竹林前三类受损程度立竹比例超过 80%，而死亡立竹低于 20%，竹林更新能力和抗逆性明显优于覆盖 3 a 和 5 a 雷竹林，是比较适宜的竹林覆盖经营方式。

表 2 严重低温寒害条件下不同林地覆盖年限雷竹林立竹受损率 (%)

Table 3 Damage ratio of *Phyllostachys praecox* from stand of different mulching years in freezing rain and snow hazards

覆盖经营年限 Mulching management years (a)	I类 I type	II类 II type	III类 III type	IV类 IV type
CK	32.36±2.62 a	36.25±2.68 a	20.12±2.01 b	11.27±1.06 f
1a	29.90±2.15 b	32.50±2.63 b	21.15±1.39 b	16.45±1.94 d
3a	23.26±1.35 c	27.79±2.36 c	24.17±2.55 a	24.78±1.98 c
5a	18.11±0.94 d	20.36±1.58 d	24.49±2.11 a	37.04±3.59 b
7a	15.21±0.49 e	18.93±1.06 e	24.42±2.15 a	41.44±4.68 a
休养式覆盖(覆盖 3a+休养 2a) Respite- mulching management(mulching 3a +respite 2a)	27.23±2.06 b	31.46±2.68 b	22.03±1.98 b	19.28±0.86 e

4 结论与讨论

林木个体特征决定了林木在雨雪冰冻灾害中受影响的程度，不同的林种由于自身生长特性的差异(Zhu et al, 2006)或同一林种由于年龄、个体大小、发育阶段等不同，对逆境的适应能力差异等导致在雨雪冰冻灾害中遭受破坏的程度也存在差异(Kenderes et al, 2007)。本研究发现，严重低温寒害气候条件下，雷竹林不同胸径立竹的受损程度差异较大，中小径级雷竹(DBH<5cm)冻害受损伤程度主要为I-III类，而较大径级立竹(DBH≥5cm)受害类型主要为III-IV型，且以 3≤DBH < 5 综合损伤程度最低，也即中等径级雷竹受冻最轻，抗冻能力较强。这与冰雪灾害中胸径较小林木受灾严重的研究结论相反(何茜等, 2010; 李洪军等, 2010; 张志祥等, 2010)，其原因可能与竹类植物特殊的异速度生长规律有关，即立竹全高的增长明显快于胸径，较小的胸径差异，会导致较大的立竹高度差异；而在同一林分中，胸径较大的立竹通常较高，往往高于林分平均高度，因而容易受到低温伤害(Kenderes et al, 2007)，而胸径过小，立竹高度低于林分平均高度，较容易受冻，雷竹在经营过程中，胸径 3~5 cm 立竹占竹林绝大部分，而形成高度相对一致的林冠层，共同抵抗低温冻害，因而受冻较轻。不同立竹年龄雷竹冻害差异较大，2 年生、3 年生立竹低温受冻较轻，而 1 年生、3 年及以上立竹受冻较重，这可能是由

于 1 年生立竹木质化程度较低(李迎春等, 2015; Zhou et al, 2017)，组织较细嫩且含水率较高，因而容易受冻(尹新华等, 2008)，而 3 年以上立竹生长活性和抗性均已明显下降，特别是林地覆盖雷竹林 3 年以上立竹(郭子武等, 2015)，因而容易受到冻害。因此，在雷竹林经营过程中，要注意调整形成合理的竹林结构，留养胸径大小适中的立竹，同是宜应多留养生长旺盛、抗性强的 2 年生、3 年生立竹，以提高抵抗冰雪灾害的能力。

林地覆盖竹笋早出技术可使得雷竹提前出笋，进而价格倍增。然而长期连年林地覆盖已经引起林地土壤劣变，立竹光合能力、生长活性等下降，立竹抗逆能力明显下降(郭子武等, 2013，2015; 陈珊等, 2014; Guo et al, 2014)。本研究表明，不同覆盖年限雷竹林低温雪灾冻害差异明显，短期林地覆盖(≤3 a)雷竹林冰雪冻害主要表现为受损程度I-III类，超过 75%，而受损程度III和IV比例较小，不足 50%，死亡立竹数量低于 25%，而长期林地覆盖盖雷竹林(≥5 a)，冻害受损程度明显增加，受损程度III-IV比例超过 60%，且死亡立竹比例超过 35%，休养式覆盖雷竹林冰雪冰害明显低于连续覆盖雷竹林，受损程度I-III立竹比例超过 80%，而死亡立竹不足 20%，竹林更新能力和抗逆性明显优于连续覆盖 3 a 和 5 a 雷竹林，也即休养式林地覆盖是雷竹林适宜的高效经营方式，若要进行连续覆盖经营则经营年限不宜超过 3 a，这可能是由于连续林地覆盖 3 a 以上雷竹生长活性明显下降，林地土壤劣变严重，竹林明显退化(郭子武等, 2013，2015; 陈珊等, 2014; Guo et al, 2014)，因而对雨雪冰冻灾害抵抗能力明显下降，受损程度加重。因此，在竹林经营过程中，宜且采取休养式覆盖的雷竹林经营方式，竹林连续覆盖年限不宜超过 3 年。若覆盖经营过程中，雷竹林遭受冰雪灾害，且低温持续时间较长，宜及时去除林地覆盖物，防止覆盖物含水率过高结冰导致二次冻害的发生。

参考文献：

CHEN S, CHEN SL, GUO ZW, et al, 2014. Correlation between soil nutrient content and nutrient characteristics of *Phyllostachys violascens* under mulching management [J]. Guihaia, 34(6): 793-798. [陈珊，陈双林，郭子武，等, 2014. 林地覆盖经营雷竹林叶片养分特征及其与土壤养分的关系 [J]. 广西植物, 34(6): 793-798.]

CUI NJ, ZHANG DJ, LIU Y, 2014. Plant diversity and seasonal dynamics in forest gaps of varying sizes in *Pinus massoniana* plantations [J]. Chin J Plant Ecol, 38(5): 477-490. [崔宁洁，张丹桔，刘 洋，等, 2014. 马尾松人工林不同大小林窗植物多样性及其季节动态 [J]. 植物生态学报, 38 (5): 477-490.]

GALIK CS, JACKSON RB, 2009. Risks to forest carbon offset projects in a changing climate [J]. For Ecol Manage, 257(11): 2209-2216.

GE XG, ZHOU BZ, WANG G, et al, 2014. The influence of forest gap on seedling regeneration of *Schima superba* after heavy snowstorm [J]. For Res, 27(4): 529-535. [葛晓改，周本智，王 刚，等, 2014. 雪灾干扰下林窗对木荷幼苗更新的影响 [J]. 林业科学研究, 27(4): 529-535.]

GUO ZW, WANG WY, YANG QP, et al, 2013. Effects of mulching management on stoichiometry of soil C, N and P in *Phyllostachys praecox* plantations [J]. Guihaia, 33(5): 627-632. [郭子武，王为宇，杨清平，等, 2013. 林地覆盖对雷竹林土壤碳氮磷化学计量特征的影响 [J]. 广西植物, 33(5): 627-632.]

GUO ZW, CHEN SL, YANG QP, et al, 2014. Effects of mulching management on soil and foliar C, N and P stoichiometry in bamboo (*Phyllostachys violascens*) plantations [J]. J Trop For Sci, 26(4): 572-580 .

GUO ZW, HU JJ, YANG QP, et al, 2015. Influence of mulching management on the relationships between foliar non-structural carbohydrates and N, P concentrations in *Phyllostachys violascens* stand [J]. Chin J Appl Ecol, 26(4): 1064-1070. [郭子武，胡俊靖，杨清平，等, 2015. 林地覆盖经营对雷竹叶片非结构性碳水化合物与氮、磷关系的影响

[J]. 应用生态学报, 26(4): 1064-1070.]

HE Q, LI JY, CHEN XY, et al, 2010. Types and extent of damage to *Cunninghamia lanceolata* plantations due to unusually heavy snow and ice in southern China [J]. Chin J Plant Ecol, 34(2): 195-203. [何　茜, 李吉跃, 陈晓阳, 等, 2010. 2008 年初特大冰雪灾害对粤北地区杉木人工林树木损害的类型及程度 [J]. 植物生态学报, 34(2): 195 -203.]

JENTSCH A, BEIERKUHNLEIN C, 2008. Research frontiers in climate change: Effects of extreme meterological events on ecosystems [J]. CR Geosci, 340(9-10): 621-628.

KENDERES K, ASZALÓS R, RUFF, et al, 2007. Effects of topography and tree stand characteristic on susceptibility of forests to natural disturbances (ice and wind) in the Borzsony Mountains (Hungary) [J]. Community Ecol, 8(2): 209-220.

LI HJ, LIU P, ZHANG ZX, et al, 2010. Ice and snow damage and subsequent sprouting of *cunninghamia lanceolate* (Taxodiaceae) plantation and their related-factors analysis [J]. Acta Bot Yunnan, 32(2): 158-166. [李洪军, 刘　鹏, 张志祥, 等. 2010. 杉木人工林冰雪灾害受灾和萌生情况调查及影响因子分析 [J]. 云南植物研究, 32(2): 158 -166.

LI YC, YANG QP, GUO ZW, et al, 2015. Damage characteristics of *Phyllostachys edulis* stands under continuous high temperature and drought [J]. For Res, 28(5): 646-653. [李迎春，杨清平，郭子武, 等, 2015. 毛竹林持续高温干旱灾害特征及影响因素分析 [J]. 林业科学研究, 28(5): 646-653.]

MEEHL GA, TEBALDI C, 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century [J]. Science, 305(5686): 994-997.

RICHARD RH, 2015. An overview of weather and climate extremes - Products and trends [J]. Weath Clim Extre, 10: 1-9.

SOHGEN S, TIAN XH, 2016. Global climate change impacts on forests and markets [J]. Forest Policy Econ, 72, 18-26.

SU WH, FAN SH, ZHANG WY, 2008. Damage of frost and snow disaster to Moso bamboo stands and the influencing factors in Huangshan, Anhui Province [J]. Sci Silv Sin, 44(11): 42-49. [苏文会, 范少辉, 张文元, 等, 2008. 冰冻雪灾对黄山区毛竹林的损害及影响因子 [J]. 林业科学, 44(11): 42-49.]

WANG J, WEN XF, WANG HM, 2014. The effects of ice storms on net primary productivity in a subtropical coniferous plantation [J]. Act Ecol Sin, 34(17): 5030-5039. [王　静, 温学发, 王辉民, 等, 2014. 冰雪灾害对中亚热带人工针叶林净初级生产力的影响 [J]. 生态学报, 34(17): 5030-5039.]

YIN XH, WEN YM, DOGN YF, 2008. Damage of characteristics of pubescens forests in freezing rain and snow hazards [J]. J Zhejiang For Coll, 25(6): 823-827. [尹新华, 翁益明, 董云富, 2008. 毛竹受雨雪冰冻危害的受损特点 [J]. 浙江林学院学报, 25(6): 823-827.]

ZHANG JG, DUAN AG, TONG SZ, et al, 2008. Harm of frost and snow suppress to near mature stands of *cunninghamia lanceolate* lantations [J]. Sci Silv Sin, 44(11): 18-22. [张建国, 段爱国, 童书振, 等, 2008. 冰冻雪压对杉木人工林近成熟林分危害调查 [J]. 林业科学, 44(11): 18-22.]

ZHANG ZX, LIU P, QIU ZJ, et al, 2010. Factors influencing ice and snow damage to *Pinus taiwanensis* in Jiulongshan Nature Reserve, China [J]. Chin J Plant Ecol 34(2): 223-232. [张志祥, 刘　鹏, 邱志军, 等, 2010. 浙江九龙山自然保护区黄山松种群冰雪灾害干扰及其受灾影响因子分析 [J]. 植物生态学报, 34(2): 223 -232.]

ZHOU BZ, GU LH, DING YH, et al, 2011. The Great 2008 Chinese ice storm: Its socioeconomic-ecological impact and sustainability lessons learned [J]. BAMS, 92(1): 47-60.

ZHOU BZ, WANG XM, CAO YH, et al. Damage assessment to subtropical forests following the 2008 Chinese ice storm [J]. *iForest*, 2017, 10: 406-415

ZHU JJ, LI XF, LIU ZG, et al. 2006. Factors affecting the snow/wind induced damage of a montane secondary forest in northeastern China [J]. Silva Fenn, 40(1): 37 -51.